

Е. В. Протопопов, С. В. Фейлер, А. Н. Калиногорский
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк
kalinogorsky@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ВИХРЕВОЙ ГАЗОВОЙ СТРУИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ФУТЕРОВКУ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ¹

С использованием методов физического моделирования изучены особенности аэродинамики вихревой газовой струи для раздувки конвертерного шлака на футеровку агрегата.

Ключевые слова: конвертер, футеровка, раздувка шлака, вихревая газовая струя, поле скоростей, расход газа, диаметр сопла.

Using the methods of physical modeling features studied aerodynamics vortex gas jet blowing converter slag on the lining of the unit.

Keywords: converter, lining, slag splashing, whirling gas jet, velocity field, gas flow, nozzle diameter.

Эффективность работы сталеплавильных агрегатов, их производительность, качество и себестоимость выплавляемой стали во многом определяется стойкостью их футеровки, что, как правило, обеспечивается разработкой и использованием высококачественных огнеупорных материалов. Однако такое направление на предприятиях отрасли, в частности в кислородно-конвертерных цехах, себя практически исчерпало в связи с широким применением периклазоуглеродистых огнеупоров.

Распространенным способом продления срока службы футеровки конвертеров также остается локальное торкретирование ее наиболее изношенных мест, но более распространенным является направление, связанное с применением высокомагнезиальных флюсов и раздувкой конвертерного магнезиального шлака на футеровку агрегата. При этом обеспечивается формирование на поверхности последней огнеупорного покрытия достаточной толщины, а также с необходимыми прочностными и огнеупорными свойствами [1, 2].

Несмотря на наличие известных конструкций специальных дутьевых устройств, обеспечивающих направленный брызговынос на стены конвертера [3], в условиях производства для раздувки шлака используется

¹ Работа выполнена по государственному заданию Министерства образования и науки РФ, проект 2556.

как правило, обычная кислородная фурма, что снижает технологичность процесса.

В соответствии с развиваемыми положениями предлагается использование в фурмах для раздувки шлака элементов конструкции вихревых аппаратов для получения вихревых газовых струй [4, 5]. При этом в специальной камере создается вихревой газовый поток, при истечении которого обеспечиваются условия для максимально возможного разбрызгивания подготовленного шлакового расплава и равномерного нанесения гарнисажа, в том числе на верхние горизонты футеровки конвертера.

Для исследования аэродинамических особенностей вихревого потока были изучены поля скоростей закрученной струи на выходе из сопла фурмы. Замеры выполнены с использованием лазерного доплеровского измерителя скорости, при этом диаметр выходного сопла варьировали в пределах от 0,5 до 2,5 мм. Распределение осевой компоненты скорости на выходе из сопла вихревой фурмы представлено на рис. 1.

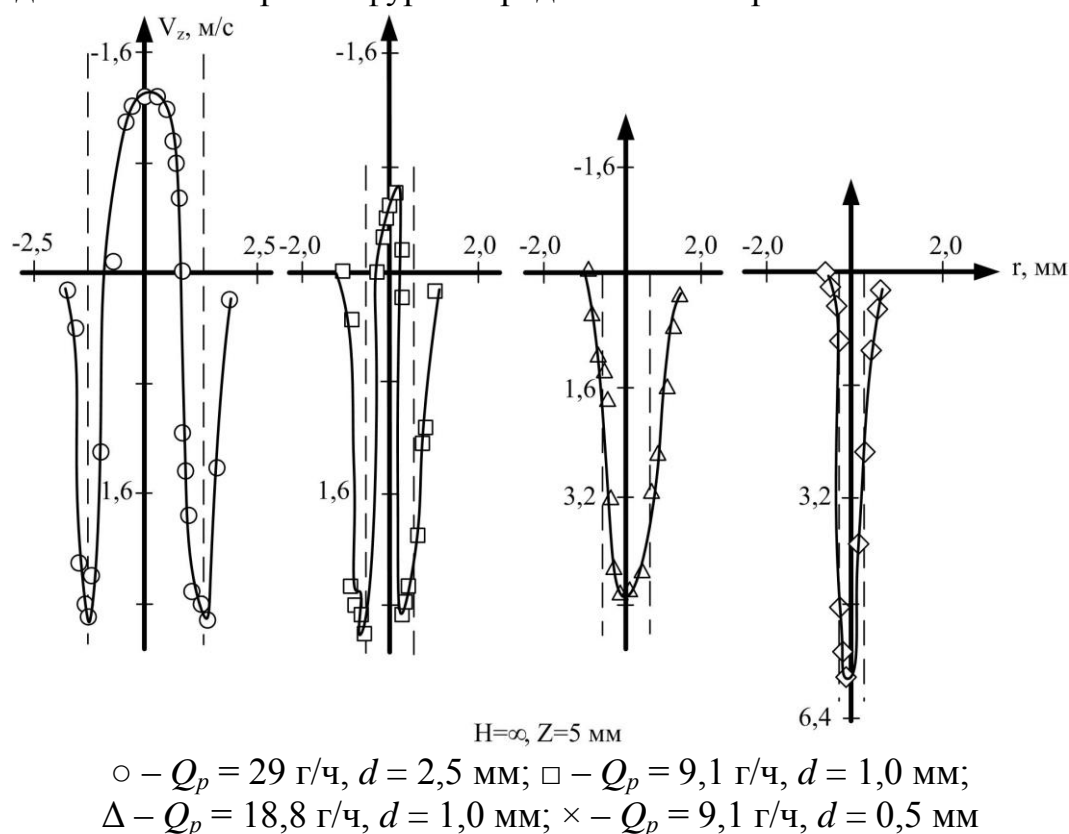


Рис. 1. Распределение осевой компоненты скорости

Как видно, профиль осевой компоненты скорости зависит от диаметра выходного сечения сопла и расхода воздуха. При диаметре 2,5 мм фиксируется зона интенсивного возвратного потока, при диаметре 0,5 мм профиль скорости напоминает профиль обычной струи, а при диаметре сопла 1,0 мм появляющееся возвратное течение возникает только при определенном расходе газа. Фактические измерения выполнены на рассто-

янии 5 мм от среза сопла (на рис. 1 штриховой линией показаны геометрические границы выходного сечения сопла).

В сечении струи профиль тангенциальной скорости сохраняется при закрутке потока, а основной характеристикой является положение максимума скорости. При интенсивном закручивании потока максимум скорости смещается к пограничному слою, а при незначительной закрутке максимум приближается к оси распространения газовой струи. Следует предполагать, что смещение вектора тангенциальной скорости при распространении газовой струи обусловлено трением с окружающей средой при более турбулентном течении потока. В зависимости от высоты расположения фурмы, в случае создания интенсивно закрученного потока, можно реализовать два характерных вида взаимодействия вихревой струи и шлакового расплава: режим 1 – над поверхностью расплава создается вихрь, который втягивает шлак и отбрасывает его в сторону стенок конвертера (рис. 2, а); режим 2 – струя в условиях «пробоя» оттесняет жидкость на периферию и дробление происходит на некотором удалении от фурмы (рис. 2, б).

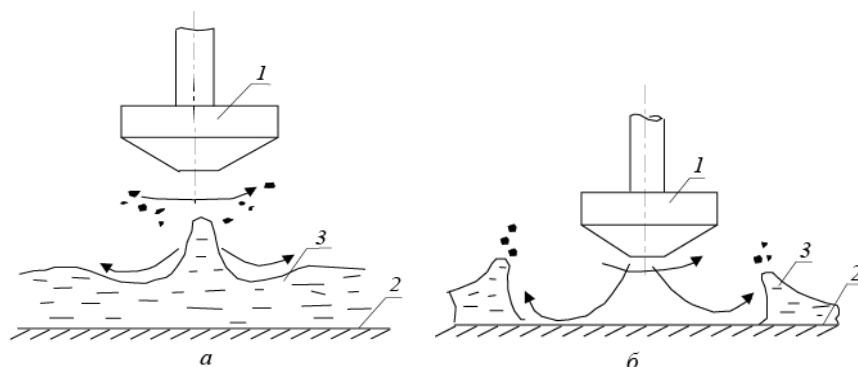


Рис. 2. Раздувка шлакового расплава вихревыми газовыми струями:
1 – фурма с вихревой камерой; 2 – футеровка днища конвертера;
3 – шлаковый расплав; а – режим взаимодействия с зоной пониженного давления; б – режим взаимодействия с оттеснением расплава от днища

Размер граничной области раздела трех фаз (газовый поток, шлаковый расплав, футеровка днища конвертера) зависит от степени закрутки потока и расхода газа. При реализации второго режима по границе жидкой фазы образуется интенсивный отраженный двухфазный поток, направленный на стенки конвертера. Физически механизм дробления расплава на капли в обоих случаях аналогичен и описывается подобными соотношениями, но в количественном отношении разница может быть существенной.

В случае реализации режима 1 к центральной части шлаковой ванны поступает расплав, который затягивается в вихрь и распыляется по внутреннему объему конвертера, при этом положение зоны подъема расплава газовым вихрем определяется выходным сечением сопла фурмы.

При реализации второго режима по окружности возникает своеобразная кольцевая зона двухфазного потока, имеющего меньшую плотность, и в виде пены легко выносятся потоком газа на стенки конвертера.

Диаметр капель, отрывающихся от поверхности шлакового расплава на границе области раздела фаз, оценили по критериальному уравнению, полученному из предположения, что кинетическая энергия газовой струи расходуется на создание новой поверхности и преодоление сил вязкого трения при их деформации:

$$\frac{D}{d} = 6\tau^{\frac{1}{3}} \left(We^{-1} + Re^{-1} \frac{\mu}{\mu_r} \right),$$

где D – размер капель шлака, м; d – эффективный диаметр столба шлака, м; τ – доля сечения, занятая каплями; We – число Вебера; Re – число Рейнольдса; μ – коэффициент динамической вязкости шлака, Па·с; μ_r – коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

Далее, используя положения теории подобия, можно уточнить параметры истечения газа и, соответственно, обосновать характерные условия для создания оптимального режима раздувки шлака вихревыми газовыми струями.

Список литературы

1. *Бабенко А. А.* Фазовый состав конвертерных магнезиальных шлаков и технологические приемы повышения износоустойчивости формируемого на футеровке гарнисажа / А. А. Бабенко, Л. Ю. Кривых, Н. В. Мухранов и др. // Известия вузов. Черная металлургия. 2012. № 2. С. 37–40.
2. *Возчиков А. П.* Повышение стойкости футеровки конвертера с применением магнезиально-глиноземистого флюса при переделе высокофосфористых чугунов / А. П. Возчиков, К. Н. Демидов, Л. А. Смирнов и др. // Черная металлургия. 2013. № 7. С. 53–57.
3. *Чернятевич А. Г.* Освоение технологии нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера путем раздувки шлака перемещающимися газопорошковыми струями / А. Г. Чернятевич, Е. Н. Сигарев, Е. В. Протопопов и др. // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. № 2. С. 15–20.
4. *Bagryantsev V. I. Chevalkov* Causes of breakdown of oxygen-powder lances / V. I. Bagryantsev, A. L. Nikolaev, L. M. Poltoratskii, A. V. Chevalkov // Steel in Translation. 1988. Vol. 18. № 2. P. 59 – 61.
5. *Bagryantsev V. I.* The dynamics of particles in guniting in a twisted flow / V. I. Bagryantsev, A. L. Nikolaev, Z. Ya. Pavlenko // Refractories and Industrial Ceramics. 1988. Vol. 29. № 5–6. P. 387–391.